

**PESQUISAS
APLICADAS EM
MODELAGEM
MATEMÁTICA**

Coleção Modelagem Matemática
Aplicada à Resolução de Problemas nas Engenharias

PAULO SAUSEN
AIRAM SAUSEN
SANDRO SAWICKI
ORGANIZADORES

PESQUISAS
APLICADAS EM
MODELAGEM
MATEMÁTICA

VOLUME 3



Editora UNIJUI

Ijuí
2014

© 2014, Editora Unijuí
Rua do Comércio, 1364
98700-000 – Ijuí – RS – Brasil
Fone: (0__55) 3332-0217
Fax: (0__55) 3332-0216
E-mail: editora@unijui.edu.br
Http://www.editoraunijui.com.br
www.twitter.com/editora_unijui

Editor: Gilmar Antonio Bedin

Editor-Adjunto: Joel Corso

Capa: Alexandre Sadi Dallepiane

Responsabilidade Editorial, Gráfica e Administrativa:

Editora Unijuí da Universidade Regional do Noroeste
do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí; Ijuí, RS, Brasil)

Catálogo na Publicação:
Biblioteca Universitária Mario Osorio Marques – Unijuí

P474 Pesquisas aplicadas em modelagem matemática / organizadores
 Airam Sausen, Paulo Sausen e Sandro Sawicki. – Ijuí: Ed.
 Unijuí, 2014. – 224 p. – (Coleção modelagem matemática
 aplicada a resolução de problemas nas engenharias ; v. 3)

ISBN 978-85-419-0136-9

1. Modelagem matemática. 2. Modelagem matemática –
Pesquisa. 3. Modelagem matemática – Conceitos matemáticos. I.
Sausen, Airam (Org.). II. Sausen, Paulo (Org). III. Sawicki, Sandro
(Org.). IV. Título. IV. Série.

CDU : 510

Editora Unijuí afiliada:



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

A coleção *Modelagem Matemática Aplicada à Resolução de Problemas nas Engenharias* é uma coleção direcionada à publicação de textos que privilegiem a aplicação da matemática, mais especificamente a modelagem matemática, nas mais diversas áreas do conhecimento. O objetivo da coleção é disponibilizar, aos leitores, um conjunto de obras que contribua significativamente para a qualificação do debate sobre o tema e ajude na compreensão de como a modelagem matemática pode auxiliar na resolução de diversos problemas do nosso cotidiano.

Conselho Editorial

Alexandre Cunha Oliveira (UFCG)
Antônio José da Silva Neto (Uerj)
Augusto Galeão (LNCC)
Cassiano Rech (UFMS)
Eduardo Perondi (UFRGS)
Eugênio Castelan (UFSC)
Euzeli Cipriano dos Santos Jr (Indiana University/USA)
Fabiano Salvadori (UFPB)
Geraldo Nunes Silva (Unesp)
Gideon Villar Leandro (UFPR)
Horacio A. Vielmo (UFRGS)
Luciano Maia (UFPel)
Luciano Pivoto Specht (UFMS)
Marat Rafikov (UFABC)
Oleg Khatchatourian (Unijuí)
Pedro Augusto Pereira Borges (UFFS)
Ricardo Augusto da Luz Reis (UFRGS)
Sandro Luis Petter Medeiros (UFMS)
Waldir Roque (UFRGS)

Comitê Editorial

Paulo Sérgio Sausen (coordenador)
Airam Sausen
Jose Antônio Gonzales da Silva
Sandro Sawicki

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

Modelagem Computacional Unidimensional de Vigas de Concreto Armado sem e com Reforço à Flexão – PRFC.....11

Luiz Antonio Farani de Souza

Cássio Luiz Mozer Belusso

CAPÍTULO 2

Método de Monte Carlo Aplicado ao Estudo da Estabilidade Térmica de Nanofios de Silício.....37

Vagner A. Rigo

Paulo C. Piquini

Ricardo A. Sauerwein

CAPÍTULO 3

Computational Model for Evaluation of Matrix Polynomials on Multicore and Multi-GPU61

Murilo Boratto

Pedro Alonso

CAPÍTULO 4

A Meta-heurística *Simulated Annealing* e o Problema de Alocação de Berços em Atracação de Navios85

Elizangela D. Pereira

Merhy Heli P. Rodrigues

Catia M. S. Machado

Milton P. Lima

CAPÍTULO 5

Localização de P-Medianas: Proposta de Solução por meio
de um Híbrido de Álgebra Linear e Otimização Combinatória.....115

Carolina Rocha Freitas

Catia dos Santos Machado

Mario Rocha Retamoso

CAPÍTULO 6

Aplicação de Modelos Elétricos na Predição
do Tempo de Vida de Baterias.....145

Cleber M. D. Porciuncula

Airam Sausen

Paulo S. Sausen

Manuel Reibold

CAPÍTULO 7

O Comportamento de Sistemas Mecatrônicos
usando Ferramentas da Dinâmica Zero.....169

Celia Aparecida dos Reis

Diego Colón

Jose Manoel Balthazar

Suélia Rodrigues Fleury Rosa

Rodrigo Tumolin Rocha

CAPÍTULO 8

Desenvolvimento de um Modelo Matemático Aplicado
ao Problema de Cobertura de Área em Redes Sem Fio.....195

Maira De Vlieger

Sandro Sawicki

Rafael Frantz

Fabricia Roos-Frantz

PREFÁCIO

A coleção Modelagem Matemática Aplicada à Resolução de Problemas nas Engenharias é direcionada à publicação de textos que privilegiam a aplicação da Matemática, mais especificamente da Modelagem Matemática, nas mais diversas áreas do conhecimento.

A Modelagem Matemática objetiva a conversão de um problema real, associado a um conjunto de hipóteses, em um problema matemático para posterior resolução. A partir do seu uso é possível realizar explicações e interpretações dos fenômenos em estudo realizando previsões e mostrando tendências. Nos últimos anos a comunidade científica tem empregado a Modelagem Matemática não somente para a resolução simples de um problema, mas igualmente como uma alternativa pedagógica na condução do processo de ensino e aprendizagem tanto em cursos de Graduação quanto em programas de Pós-Graduação.

Neste contexto, esta coletânea denominada Pesquisas Aplicadas em Modelagem Matemática – Volume III debate acerca do desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos na resolução de problemas do nosso cotidiano. A presente coletânea apresenta uma compilação de oito capítulos escritos por pesquisadores que utilizam e aplicam os conceitos matemáticos de forma interdisciplinar.

Outra importante contribuição desta coletânea consiste em apresentar como a Modelagem Matemática relaciona-se com as mais diversas áreas de conhecimento. Veremos neste volume trabalhos relacionados com a agricultura, construção civil, navegação marítima,

nanosistemas, baterias, sistemas mecatrônicos, redes de computadores, entre outros. O leitor irá perceber que todos trabalhos estão ligados a partir da aplicação e uso da linguagem matemática. Esta obra foi criada e estruturada de forma que possa ser utilizada como um texto de referência para docentes, pesquisadores e alunos de Pós-Graduação sobre os temas ora apresentados.

Para finalizar gostaríamos de transmitir nossos sinceros parabéns ao conjunto de autores, que a partir de suas pesquisas, nos auxiliaram a compreender e apresentar em forma de uma obra a importância da Modelagem Matemática quando utilizada como um ferramental para a resolução de problemas do nosso cotidiano. Esperamos que nossa coleção tenha uma vida longa e já nos próximos volumes gostaríamos de ver sua colaboração a este importante debate que aqui se inicia.

Os organizadores.

Ijuí (RS) julho de 2014.

Capítulo 1

Modelagem Computacional Unidimensional de Vigas de Concreto Armado sem e com Reforço à Flexão – PRFC

Luiz Antonio Farani de Souza e Cássio Luiz Mozer Belusso

Universidade Federal da Fronteira Sul

Cerro Largo – RS – Brasil

Resumo

Modelos constitutivos que acoplam mais de uma teoria para a representação dos fenômenos relacionados ao comportamento do concreto apresentam formulações quase sempre complexas. Buscando, no entanto, diminuir o grau de complexidade, mas ainda levando-se em conta na sua formulação o acoplamento de efeitos, e por consequência de teorias, grande destaque tem sido dado aos chamados modelos constitutivos simplificados. Análises numéricas não lineares unidimensionais de vigas de concreto armado sem e com reforço à flexão (Polímero Reforçado com Fibra de Carbono - PRFC), discretizadas por Elementos Finitos, são realizadas comparando os resultados numéricos com os experimentais. O concreto é simulado por meio de modelos materiais simplificados para descrever o comportamento diferenciado à tração e à compressão, o aço por um modelo bilinear fundamentado na Mecânica do Dano Contínuo e o PRFC descrito por um modelo elástico linear. Em adição, são incorporados à modelagem das vigas critérios de falha. As trajetórias de equilíbrio são fornecidas mediante uma análise incremental iterativa baseada no método de Newton - Raphson combinado com a técnica de comprimento de arco. A modelagem proposta apresenta potencialidade na simulação numérica de estruturas de concreto armado, devido a sua reduzida complexidade e baixo custo computacional.

1 Introdução

O concreto tem sido o material estrutural mais utilizado no mundo nos últimos 60 anos. É empregado em todos os tipos de construção por suas inúmeras vantagens: facilmente moldável, adaptando-se a qualquer tipo de forma; resistente ao fogo, às influências atmosféricas e ao desgaste mecânico; e é uma alternativa econômica, visto que é constituído de matéria-prima barata [1].

Análises de estruturas de concreto armado baseadas em modelos materiais elásticos (lineares ou não lineares) são largamente utilizadas em escritórios de projeto na atualidade, sendo seus resultados empregados no dimensionamento e avaliação do comportamento global das mesmas. Quando essas estruturas são submetidas a carregamentos que causam o início de fissuração do concreto em tração, as análises elásticas não têm capacidade de simular adequadamente esse comportamento [2].

O comportamento do concreto é bastante complexo, o que vem a criar dificuldades na análise das estruturas executadas com esse material. Essas dificuldades são decorrentes, entre outros fatores: da significativa diferença entre as resistências à tração e à compressão do concreto; da não linearidade da relação tensão-deformação já para níveis de tensão relativamente baixos; dos fenômenos de fluência e retração que dependem, por exemplo, da umidade e temperaturas ambientes e das dimensões dos elementos estruturais; da fissuração do concreto, que pode ocorrer já nas primeiras idades, e da transmissão de esforços através das fissuras [1].

Em relação aos modos de ruptura, o concreto apresenta um comportamento distinto nas tensões de tração e compressão. A ruptura do concreto por esforços de tração é ocasionada pela formação de fissuras e conseqüente perda de resistência normal à direção da fissura. Quanto à ruína na compressão, o concreto apresenta um comportamento que pode ser considerado plástico, que é o esmagamento ocasionado pela superação da coesão interna por efeito da tensão de cisalhamento caracterizada pela grande quantidade de microfissuras.

Devido à complexidade do comportamento do concreto, a formulação de um modelo constitutivo completo para esse material torna-se algo difícil. Modelos têm sido formulados com base na teoria da Elasticidade, da Plasticidade e, mais recentemente, na Mecânica do Dano, cada qual fornecendo respostas coerentes com a situação estudada do comportamento do concreto, no entanto nunca suficientemente gerais [3].

Modelos constitutivos que acoplam mais de uma teoria para a representação dos fenômenos relacionados ao comportamento do concreto apresentam formulações quase sempre complexas. Buscando, no entanto, diminuir o grau de complexidade, mas ainda levando-se em conta na sua formulação o acoplamento de efeitos, e por consequência de teorias, grande destaque tem sido dado aos chamados modelos constitutivos simplificados [4].

A implementação de algoritmos iterativos e incrementais associados a critérios de Plasticidade ou Dano permite considerar a evolução do comportamento estrutural em relação aos estados limites últimos e de serviço. Nessas análises, contudo, estão envolvidas imprecisões relacionadas à escolha do modelo material, do elemento e da malha de elementos finitos e da técnica de solução das equações não lineares.

De todas as fibras sintéticas possíveis de serem utilizadas no reforço estrutural, destaca-se o sistema polimérico estruturado com fibra de carbono. A grande força de ligação entre os átomos de carbono, associada a sua leveza, faz deste compósito um material altamente promissor. Denominado de Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (PRFC), ele pode ser encontrado em forma de mantas, tecidos, barras e laminados. É indicado para qualquer elemento estrutural em que é exigido pouco peso, elevada resistência à tração e corrosão e necessidade de resistência à fadiga.

A utilização de materiais compósitos no reforço e recuperação de estruturas de concreto armado é tema de grande interesse na atualidade. Segundo Pavan et al. [5], o reforço é necessário para adequar a estrutura a condições de uso diferentes daquelas para as quais foi projetada. A recuperação está relacionada

às situações em que, devido à deterioração da estrutura, deve-se restituir sua capacidade de carga original para que a mesma continue atendendo às exigências de projeto.

Duas análises estruturais unidimensionais, por meio do Método dos Elementos Finitos, de vigas biapoiadas de concreto armado sem e com reforço à flexão (PRFC) são apresentadas, comparando os resultados numéricos com os experimentais. As simulações computacionais são realizadas no programa Scilab, versão 5.4.1. As trajetórias de equilíbrio são fornecidas mediante uma análise incremental iterativa baseada no método de Newton - Raphson combinado com a técnica do comprimento de arco.

Na primeira análise, faz-se um estudo computacional de uma viga de concreto armado sem reforço estudada por Álvares [4], mediante três modelos constitutivos simplificados para simular o comportamento diferenciado do concreto à tração e à compressão, que são: modelo de Mazars [6], modelo adaptado de Elwi e Murray [7] e Mazars [6], e modelo adaptado de Elwi e Murray [7] e Cervera et al. [8]. Para descrever o comportamento das armaduras, utiliza-se o modelo proposto por Manzoli et al. [9], fundamentado na Mecânica do Dano.

Na modelagem da viga, também é incorporado o critério de falha de Tsai e Wu [10]. Essa teoria foi escolhida por apresentar vantagens em relação às inúmeras outras teorias existentes, por exemplo: é uma equação escalar e invariante, na qual os componentes de resistência são expressos em um tensor; e as propriedades de simetria do tensor podem ser determinadas rigorosamente.

Uma viga de concreto armado reforçada à flexão com uma lâmina de PRFC fixada na parte inferior da mesma, proposta por Beber et al. [11] é apresentada na segunda análise. Os comportamentos do concreto e do aço são descritos pelos modelos constitutivos propostos por Mazars [6] e Manzoli et al. [9], respectivamente, ambos baseados na Mecânica do Dano Contínuo. O PRFC é simulado por um modelo elástico linear. Incorpora-se o critério de falha da Máxima Deformação aos modelos constitutivos do aço e do PRFC.